МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 622.323; 629.3.064.3 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-2-164-169

Анализ эффективности системы внешнего обогрева мерной емкости насосной установки от выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания*

С. О. Киреев[1], В. Н. Степанов[2], М. В. Корчагина[3], А. В. Ефимов[4]**
[1, 2, 3, 4] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Effectiveness analysis of external heating system of gauge tank of pumping unit using exhaust piping of the IC engine***

S. O. Kireev[1], V. N. Stepanov[2], M. V Korchagina[3], A. V. Yefimov[4]**
[1, 2, 3, 4] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Статья посвящена исследованию эффективности обогрева или поддержания рабочей температуры жидкости, находящейся в мерной емкости передвижной насосной установки, от выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания. Цель работы — совершенствование процесса проектирования и снижение затрат на натурные эксперименты.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи были использованы методы численного анализа при расчете систем обогрева мерной емкости с внешним расположением трубопровода от выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на примере широко распространенных установок ЦА-320, УНБ, АЧФ и др. Применен нестационарный нелинейный решатель газодинамических процессов (Siemens STAR-CCM+), позволяющий оценить правильность постановки задачи и значительно сокращающий затраты на полномасштабные натурные испытания.

Результаты исследования. Исследование проводилось для условий работы цементировочного агрегата на шасси «Камаз-43118» с насосом «СИН-32» и приводом от коробки отбора мощности на коробке переключения передач двигателя шасси.

В расчетной модели применен конвекционный тип теплопередачи между корпусом мерной емкости и окружающим воздухом; между корпусом мерной емкости и жидкостью; между трубопроводом выхлопной системы шасси и воздухом окружающей среды; между трубопроводом выхлопной системы и выхлопными газами.

В результате исследования получены графические зависимости изменения температуры жидкости мерной емкости в контрольных точках; распределение поля температур жидкости в мерном баке; распределение поля температур окружающего воздуха; линии потоков и поля скоростей окружающего воздуха и выхлопных газов ДВС.

Introduction. The heating efficiency or regulation of the operating temperature of the fluid located in the gauge tank of a mobile pumping unit (PU) using the exhaust system of the internal combustion engine (ICE) is studied. The paper objective is to improve the design process and to reduce costs of field experiments.

Materials and Methods. To solve this problem, numerical analysis methods were used when calculating the heating systems of the gauge tank with the external location of the pipeline from the ICE exhaust system by the example of the widely used installations (TsA-320, UNB, AChF, etc.). Siemens STAR-CCM+, a non-stationary non-linear solver of gas-dynamic processes, was used, which evaluates the correctness of the problem statement and reduces significantly the costs of full-scale field tests.

Research Results. The study was conducted for the operating conditions of the cementing unit on the Kamaz-43118 chassis with the SIN-32 pump and a drive from the power take-off attachment on the gearbox of the chassis engine. In the calculation model, a convection-type heat transfer was applied between the body of the gauge tank and the surrounding air; between the body of the gauge tank and the liquid; between the chassis exhaust system duct and ambient air; between the exhaust system duct and exhaust gases. The following study results were obtained: characteristic curves of the temperature variation of the gauge tank liquid at the watch points; the distribution of the temperature field of the liquid in the gauge tank; the distribution of the ambient air temperature field; lines of flows and ambient air speed field and of the ICE exhaust gases.

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР № АААА-А18-118120390043-0 от 03.12.2018 г.
**E-mail: kireevso@yandex.ru, st_fem@bk.ru , ms.korchaginamv@mail.ru, spu-45.2@donstu.ru
*** The research is done within the frame of the independent R&D no. АААА-А18-118120390043-0 of 03.12.2018.

Обсуждение и заключения. В ходе исследования выяснилась недостаточная эффективность рассматриваемой конструкции. Анализ данных позволяет предложить усовершенствованную конструкцию обогрева мерной емкости. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при расчетах подобных устройств, применяемых в установках гидроразрыва пласта и цементирования скважин.

Discussion and Conclusions. The study has revealed poor effectiveness of the considered structure. The data analysis allows us to offer an improved design of the gauge tank heating. The results obtained in the work can be used in the calculations of such devices used in the hydraulic fracturing units and grout machines.

Ключевые слова: передвижная насосная установка, мерная емкость, водоподающий насос, насос высокого давления, двигатель внутреннего сгорания (ДВС).

Keywords: mobile pump unit, gauge tank, water feeding pump, high pressure pump, internal combustion engine (ICE).

Образец для цитирования: Анализ эффективности системы внешнего обогрева мерной емкости насосной установки от выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания / С. О. Киреев [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2019. — Т. 19, № 2. — С. 164−169. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-2-164-169

For citation: S.O. Kireev, et al. Effectiveness analysis of external heating system of gauge tank of pumping unit using exhaust piping of the IC engine. Vestnik of DSTU, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 164−169. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-2-164-169

Введение. Залежи трудноизвлекаемых углеводородов в северных широтах России приурочены к низкопроницаемым, слабодренируемым, неоднородным и расчлененным коллекторам. В связи с необходимостью освоения таких нефтегазоносных территорий возникает потребность в гарантированной плюсовой температуре жидкости, находящейся в мерной емкости установки. Эта проблема сохраняет актуальность при строительстве и капитальном ремонте скважин.

На качество жидкости гидроразрыва пласта (ГРП), бурового и тампонажного растворов влияют следующие факторы:
— типы пород, взаимодействующие с названными системами;
— глубина скважины (давление);
— температура на забое.

Примем два утверждения стандарта ТНК-ВР «Соблюдение контроля качества при проведении ГРП»:
1) жидкие химические реагенты, предназначенные для смешивания на кустовой площадке, должны храниться или перевозиться при температуре более 15 ºС;
2) хранение, перевозка, испытания и закачка всех жидких реагентов должна производиться при температуре >15 ºС, независимо от погодных условий [1].

Температура системы не должна быть ниже 8–10 °C при всех видах работ по приготовлению жидкости затворения, продавочных систем и систем бурового и промывочного растворов [2].

В литературе по нефтегазовому оборудованию 1979 года упоминается использование для обогрева системы выхлопных газов двигателя шасси или палубного двигателя (цементировочный агрегат ЦА-320А) [3]. Ссылки на продувочные системы осушения гидроблока насоса высокого давления есть в двух руководствах по эксплуатации: «Установки насосные УНБ-1000, УНБ-800, УНБ-630» и «Цементировочный гидроразрывный агрегат АЧФ-1050. UPETROM». В руководствах по эксплуатации «Установка двухнасосная передвижная УНП-320×40» и «Установка насосная УНБ-125-50 СО» отдельно выделены пункты по работе с системой осушки и обогрева.

В представленной работе проведен анализ эффективности обогрева мерной емкости с внешним расположением трубопровода от выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Материалы и методы. Использованы методы численного моделирования. В качестве примеров рассмотрены широко распространенные установки ЦА-320, УНБ, АЧФ и др.

Применение численных методов исследования позволяет оценить правильность постановки задачи (с погрешностью выбора идеализированной модели), значительно сокращает затраты на натурные полномасштабные испытания или полностью доказывает конструкторско-технологическую несостоятельность задачи. При отсутствии статистических данных по исследуемой проблеме полученные результаты численных методов сужают спектр решаемых натурных задач. В качестве инструмента численного метода был применен нестационарный нелинейный решатель газодинамических процессов (Siemens STAR-CCM+) [4].

Для численного исследования была выбрана задача нагрева мерной двухсекционной емкости. С этой целью использован цементировочный агрегат на шасси «Камаз-43118» с насосом «СИН-32» и приводом от коробки отбора мощности на коробке переключения передач двигателя шасси. В задней зоне тележки шасси

установлена мерная емкость объемом 2×2 $м^3$. Она представляет собой цельносварную конструкцию из листового металла, имеющую два отсека с наклонным днищем и донными клапанами. В предлагаемой для расчета и анализа схеме выхлопная труба (труба обогрева) проходит под днищем мерной емкости и по стенке левой емкости поднимается вверх (рис. 1).

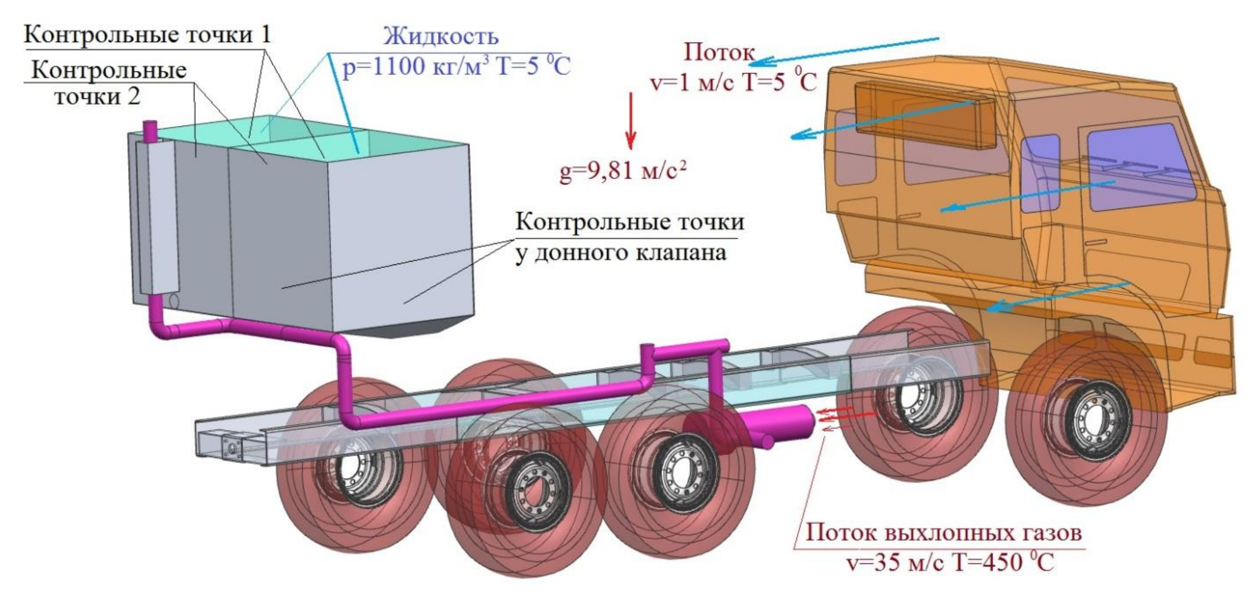


Рис. 1. Расчетная идеализированная схема цементировочного агрегата на шасси «Камаз-43118» с насосом «СИН-32»

Результаты исследования. Исследование проводилось для следующих условий работы агрегата на месторождении:
— насосный агрегат неподвижен;
— температура окружающей среды (воздуха) плюс 5 °С;
— скорость ветра 1,0 м/с;
— плотность жидкости в обеих секциях мерной емкости 1100 кг/$м^3$;
— температура жидкости в мерной емкости плюс 5 °С.

В расчетной модели применен конвекционный тип теплопередачи между следующими средами:
— корпус мерной емкости и окружающий воздух;
— корпус мерной емкости и жидкость;
— трубопровод выхлопной системы шасси и воздух окружающей среды;
— трубопровод выхлопной системы и выхлопные газы.

Для упрощения задачи в качестве выхлопных газов был использован воздух, чтобы исключить применение решателя многофазных процессов.

Параметры воздуха: плотность — 1,184 кг/$м^3$; теплопроводность — 0,026 Вт/м-К; удельная теплоемкость — 1003,6 дж/кг·К.

Параметры жидкости в мерной емкости: плотность — 1100 кг/$м^3$; теплопроводность — 0,569 Вт/м·К; удельная теплоемкость — 4217 дж/кг·К.

Параметры материала стального корпуса мерной емкости и трубопровода выхлопной системы: плотность — 7832 кг/$м^3$; теплопроводность — 63,9 Вт/м·К; удельная теплоемкость — 434,0 дж/кг·К; толщина листа корпуса мерной емкости — 4 мм; толщина трубы выхлопной системы — 3 мм [5].

Температура выхлопных газов на выходе из коллектора ДВС — 450 °С [5, 6]; скорость выхлопных газов на выходе из коллектора ДВС — 35 м/с [5].

Расчет (см. рис. 1) был выполнен из условия работы ДВС 1800 секунд (30 минут). Контрольные точки температуры жидкости были получены для левой и правой частей мерной емкости у донных клапанов на расстоянии 200 мм от днища, на расстоянии 1000 мм от днища (Т1) и на расстоянии 1000 мм от днища и 200 мм от задней стенки (Т2). Графики изменения температуры жидкости за время работы ДВС в течение 30 минут представлены на рис. 2. Поля температур и линии тока представлены на рис. 3–6.

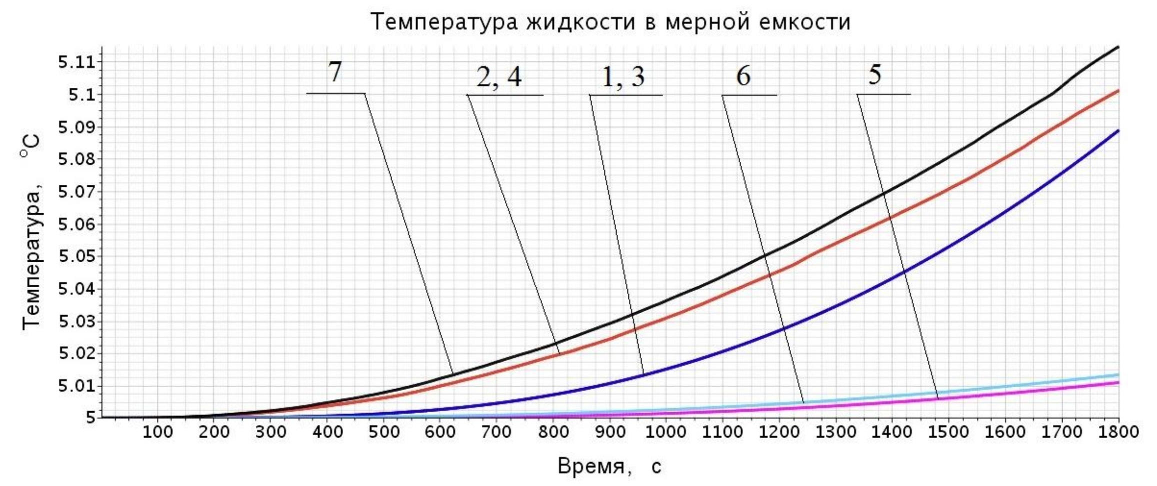


Рис. 2. График изменения температуры жидкости мерной емкости в контрольных точках: 1 — температура в верхней точке левого отсека мерника; 2 — температура в левом отсеке (точка 1); 3 — температура в левом отсеке (точка 2); 4 — температура в левом отсеке мерника у донного клапана; 5 — температура в правом отсеке (точка 1); 6 — температура в правом отсеке (точка 2); 7 — температура в правом отсеке мерника у донного клапана

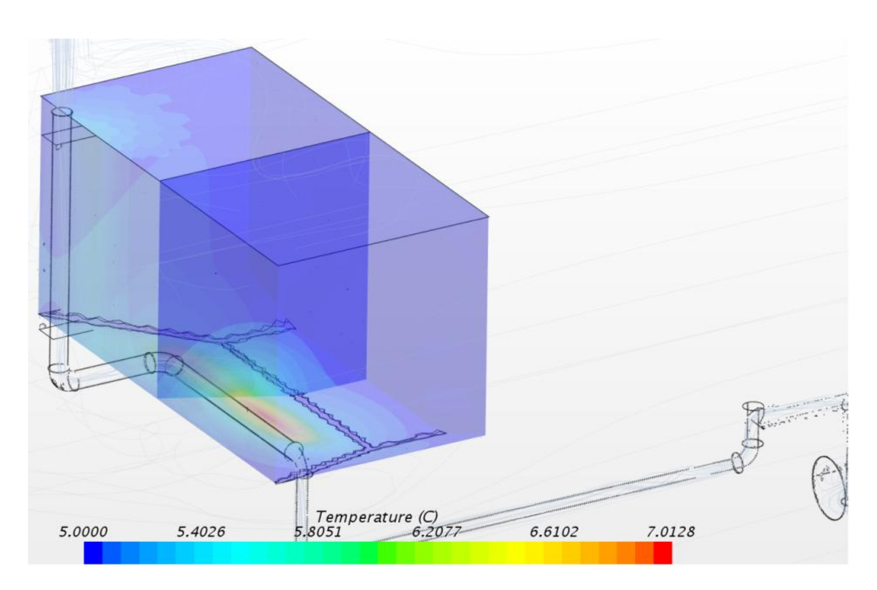


Рис. 3. Распределение поля температур жидкости в мерном баке (вид слева)

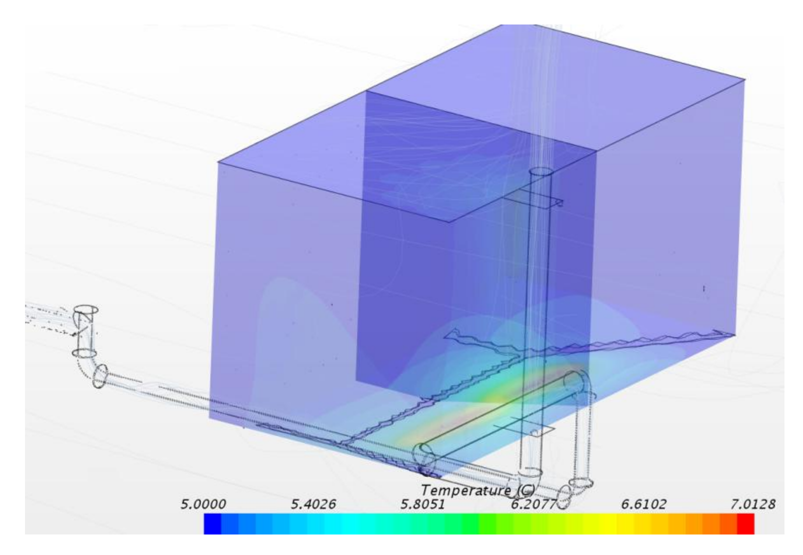


Рис. 4. Распределение поля температур жидкости в мерном баке (вид справа)

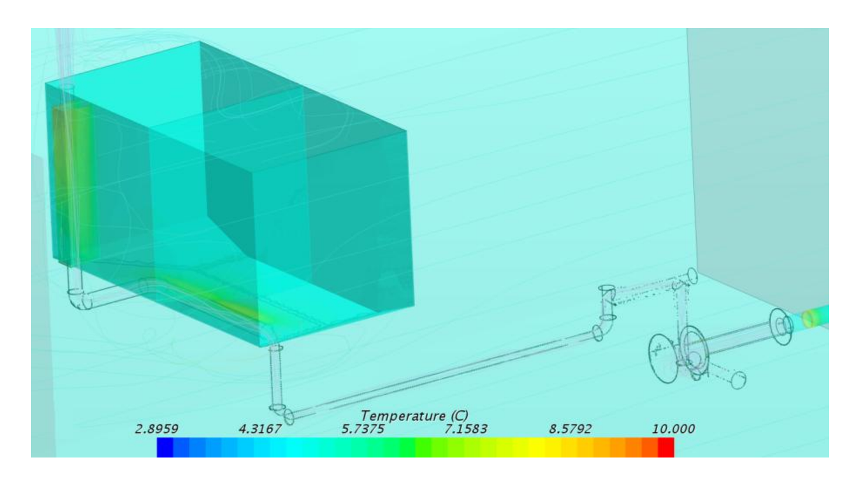


Рис. 5. Распределение поля температур окружающего воздуха и корпуса мерного бака

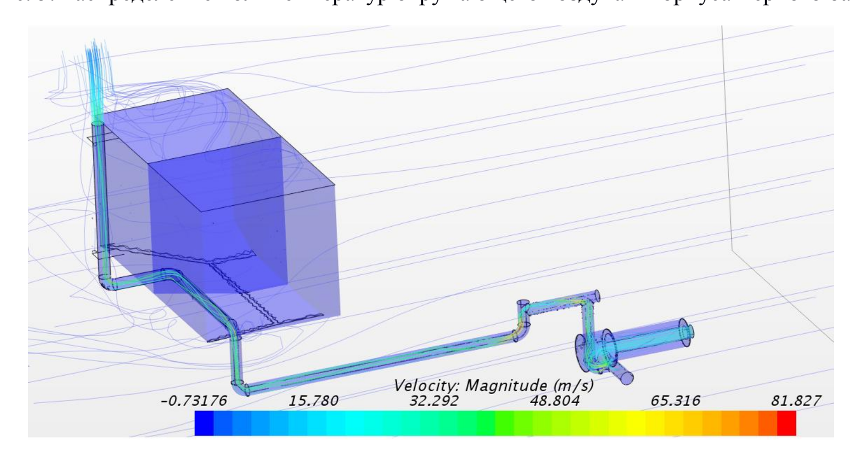


Рис. 6. Линия тока и поле скоростей окружающего воздуха и выхлопных газов ДВС

Обсуждение и заключение. Результаты расчетов наглядно показывают, что за 30 минут работы ДВС и конвекционного теплообмена между горячей выхлопной трубой, воздухом и жидкостью в мерной емкости в контрольных точках у донных клапанов жидкость прогрелась на 0,1 °С в левом отсеке и на 0,11 °С в правом отсеке.

Это позволяет сделать вывод о том, что при рассматриваемом варианте конструктивного решения большая часть тепловой энергии направлена на обогрев кабины оператора. Это положительный фактор, но не решение поставленной задачи. Проведенные исследования и построенные графические зависимости показывают, что для более эффективного распределения тепловых потоков внутри мерной емкости и в окружающей среде необходимо разместить выхлопную тубу непосредственно в мерном баке. Учитывая особенности конструкции, вход трубы целесообразно расположить внизу правой части емкости и, пропустив через левую часть, направить вдоль бака вверх в предохранительном канале.

С целью определения возможности обогрева мерной емкости необходимо провести расчеты для новой конструктивной схемы.

Библиографический список

1. Объединенные стандарты ТНК-ВР по соблюдению контроля качества при проведении ГРП и кислотных обработок. Июнь 2008. Version 11.1 [Электронный ресурс] / ТНК-ВР. — Режим доступа: https://www.petroleumengineers.ru/sites/default/files/qaqc_version_11.1_final.pdf (дата обращения: 20.01.18).

2. РД 39-00147001-2000. Инструкция по креплению нефтяных и газовых скважин [Электронный ресурс] / Управление по бурению газовых и газоконденсатных скважин ОАО «Газпром» ; НПО «Бурение» // Библиотека нормативной документации. — Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293809/4293809149.htm (дата обращения 27.03.19).

3. Справочное руководство по цементировочному оборудованию / И. О. Безбородный [и др.]. — Москва : Недра, 1979. — 202 с.

4. Siemens STAR-CCM+ Multidiscipliary Design Exploration [Электронный ресурс] / Siemens. — Режим доступа: www.siemens.com/mdx (дата обращения: 11.05.18).

5. MAN Diesel & Turbo. Exhaust Gas System [Электронный ресурс] / MAN Energy Solutions. — Режим доступа: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/4stroke/manualcontent/PG_M-II_L1624.pdf (дата обращения: 16.02.18).

6. Donaldson. Engine Horsepower & Exhaust Flow Guide [Электронный ресурс] / Donaldson Company. — Режим доступа: https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/engine-hydraulics-bulk/catalogs/Exhaust/North-America/F110028-ENG/Exhaust-Product-Guide.pdf (дата обращения: 20.05.18).

Сдана в редакцию 28.03.2019
Принята к публикации 15.04.2019

Об авторах:

Киреев Сергей Олегович,
заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9352-3852
kireevso@yandex.ru

Степанов Валентин Николаевич,
старший преподаватель кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1425-9174
st_fem@bk.ru

Корчагина Марина Валерьевна,
доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7092-7176
ms.korchaginamv@mail.ru

Ефимов Андрей Викторович,
доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9940-9030
spu-45.2@donstu.ru